不同温湿度条件下飞虱虫疠霉对桃蚜生殖力和内禀增长力的影响

徐均焕，冯明光*，余　伟**
（浙江大学微生物研究所，杭州　310029）

摘要：对7日龄桃蚜 *Myzus persicae* 用高剂量飞虱虫疠霉 *Pandora delphacis* 接种后，饲养于不同温（10～30℃）、湿（74%～100%RH）度组合条件下观察其生殖力及内禀增长力（r_m）的变化。结果表明，被接种个体生殖力比对照显著降低，且下降幅度受温度、湿度及温湿互作的影响。在各处理组合中，尤其以20～30℃和95%～100%RH的条件下下降更为明显。各处理 r_m 在不同温度间差异显著，均随温度呈抛物线形变化，25℃下达最高，但不同湿度间差异不显著。与对照相比，被接种蚜的 r_m 除10℃与各湿度组合间无显著差异外，其余温湿组合下均显著低于对照。上述分析表明，飞虱虫疠霉的侵染能显著影响桃蚜生殖力及 r_m，尤其是在桃蚜繁殖的最适温度范围内效果最为明显。

关键词：飞虱虫疠霉；桃蚜；生殖力；内禀增长力；温湿度
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2002）01-0075-05

Effects of *Pandora delphacis* on the fecundity and innate capacity for increase of *Myzus persicae* at different temperatures and relative humidities

XU Jun-Huan，FENG Ming-Guang*，YU Wei**（Institute of Microbiology，Zhejiang University，Hangzhou　310029，China）

Abstract：The effects of *Pandora delphacis* infection on the net reproduction rate（R_0）and innate capacity for increase（r_m）of the green peach aphid，*Myzus persicae* were investigated. Seven day old nymphs inoculated with the fungal conidia at a dosage higher than LD_{50} were maintained on the Chinese cabbage，*Brassica olerracea*，at temperatures of 10～30℃ and relative humidity（RH）of 74%～100%. The results indicated that number of nymphs produced by the treated aphids was significantly less than those produced in control，especially at higher temperatures（20～30℃）and RHs（95%～100%）. Their r_m differed greatly among the temperatures tested，showing a parabolic curve with the peak at 25℃. No significant effect of RH on their r_m was detected. The inoculated aphids at 15～25℃ had an innate capacity for increase significantly smaller than those in control. These results suggested that *P. delphacis* be a potential microbial agent against the aphid.

Key words：*Pandora delphacis*；*Myzus persicae*；fecundity；innate capacity for increase；temperature；relative humidity

桃蚜 *Myzus persicae* 是重要的刺吸式口器害虫，为害多种经济作物。在蚜虫的自然控制因子中，昆虫病原真菌的作用尤为重要（Latge and Papiereok，1988），如新蚜虫疠霉 *Pandora neoaphidis* 和安徽虫瘟霉 *Zoophthora anhuiensis* 等（Feng *et al*.，1991；刘彩玲和冯明光，1998）。飞虱虫疠霉 *Pandora delphacis*（虫霉目：虫霉科）在自然条件下主要侵染飞虱和叶蝉（Shimazu，1976）。但最近的研究证明它对桃蚜也具高侵染力（Xu and Feng，2000），由于该菌易培养生产及有较宽的田间忍耐温度，作为蚜虫微生物防治因子更具应用潜力。

生殖力和内禀增长力是考查害虫种群增长能力的重要指标，常受多种因素的影响（刘树生，1991）。其中病原真菌的侵染不仅影响受染昆虫的

基金项目：国家杰出青年科学基金（39525004）、国家自然科学基金（39870513，30070025）和杭州市科委重点项目（200122B18-1）
第一作者简介：徐均焕，男，1963年5月出生，汉族，浙江慈溪人，博士，副研究员，主要从事昆虫病理及害虫微生物防治的研究，E-mail：xujh@zjau.zju.edu.cn
*通信作者 Author for correspondence
**杭州市森林病虫害防治站
收稿日期 Received：2000-03-20；接受日期 Accepted：2000-07-20

生殖力和内禀增长力，还可通过它们引发寄主种群的流行病而控制其危害。但目前国内外关于这方面的报道极少，更缺乏定量和深入的研究。本文作者研究了飞虱虫疠霉接种桃蚜在不同温湿度组合条件下生殖力及内禀增长力的变化，以期了解该菌的控蚜效果及应用潜力。

1 材料与方法

1.1 菌株与接种体准备

所用飞虱虫疠霉菌株 F98401 系 1998 年 10 月自杭州稻田自然病死的白背飞虱 *Sogattela furcifera* 虫尸上分离纯化而得。菌种维持于牛奶-蛋黄培养基（80% 萨氏培养基、11.5% 牛奶、8.5% 蛋黄）上，在温度 10℃，光周期 12L:12D 的条件下隔月继代培养保存。飞虱虫疠霉接种物制备始于在 25℃下用牛奶-蛋黄培养基培养 7 天，菌落挑碎后装入 30 mL 萨氏培养液（每升含葡萄糖 40 g，蛋白胨 10 g，酵母粉 10 g，另加四合霉素 20 U/mL）中，28±1℃下黑暗振荡培养 24 h（150 r/min），再转入 80 mL 萨氏培养液中扩大培养 24 h。所获菌丝培养液每 10 mL 均匀涂布于 1.5%水琼脂平板（ϕ90 mm）上，用无菌滤纸吸去多余水份，在 25℃、12L:12D 下倒置培养 24 h 至产孢高峰待用。

1.2 试虫

供试桃蚜在室内（20～24℃，12L:12D）条件下饲养于箱笼盆栽京丰 1 号甘蓝植株上。从中选取健壮无翅成蚜，轻轻移入直径为 150 mm 培养皿的离体甘蓝叶上，24 h 后，去除成蚜，其间所产若蚜在 20℃下维持 7 天后接受“孢子浴”处理。

1.3 接种

供试桃蚜采用“孢子浴”方法接种，经 1 h 处理后的接种剂量为孢子 112 个/mm^2，该剂量远超过飞虱虫疠霉对桃蚜的半致死剂量（Xu and Feng，2000）。

1.4 试验设计

取经“孢子浴”接种的 7 日龄桃蚜（待产若蚜）于离体菜叶上，分别置于 25 种（5 个温度×5 个湿度）不同温湿度组合条件下饲养观察，8 次重复。每个重复含 3 头接种桃蚜，将其限制在 65 cm^2 的菜叶上活动。菜叶夹在直径 94 mm×高 20 mm 的圆形盒中，盒上下均用纱网（200 目）罩住，以使气流能顺利流过试虫，便于精确地控制盒内湿度。同时设对照。每日记载试盒内死蚜数、活蚜数及所产若蚜数，各观察一个世代时间。为使菜叶维持较长时间，选取叶柄较粗的叶片并在叶柄基部用 1 000×10^{-6}萘乙酸（NAA）处理 30 min（促使叶柄产生不定根）后，用吸足 Hoagland-Snyder 营养液（Adams and van Emden，1972）（另加链霉素 20 U/mL）的棉球包裹叶柄基部。在棉球外包裹塑料膜以免营养液损失及水份蒸发影响实验过程中湿度的控制。叶柄基部几天后可产生大量的不定根，每天补充营养液可维持蚜虫种群约 30 天。

温度和相对湿度（relative humidity，RH）的控制通过对常规生长培养箱（广东省医疗器械厂）改装而成。所有处理的光照为 12L:12D，温度分别为 10、15、20、25 和 30℃，RH 分别为 74、85、90、95 和 100%。RH 的控制采用改进的简易控湿装置（冯明光等，1999），调节采用不同浓度的甘油溶液，即 79.3%浓度下为 51%（RH），59.8%下为 74%，40%下为 85%，31.4%下为 90%，18.8%下为 95%，只含双蒸水溶液为 100%，不同温度处理下均可产生稳定的 RH。

1.5 数据处理与分析

各温湿度组合中桃蚜的净生殖率（R_o）、世代历期（T）、周限增长力（λ）和内禀增长力（r_m），采用生命生殖力表（刘树生，1986）进行计算，其中：

$$R_o = \sum l_x m_x \quad (1)$$

$$r_m = (\ln R_o)/T \quad (2)$$

$$T = (\sum l_x m_x x) R_o \quad (3)$$

式中 x 代表桃蚜日龄（天）的中点值，l_x 是任一个体可能存活到日龄 x 的机率（起始概率为 1.0），m_x 是在第 x 日存活的个体平均产若蚜数。

所有分析运算采用 DPS 数据处理系统软件完成（唐启义和冯明光，1997）。

2 结果

2.1 对桃蚜生殖力的影响

桃蚜为孤雌胎生，其生殖力直接影响到种群的动态。表 1 列出了不同温湿度条件下接种飞虱虫疠霉后第 3 天和第 7 天的每蚜平均产若蚜数。方差分析表明，第 3 天对照组的平均产蚜数显著高于处理组桃蚜的平均产蚜数（$P<0.01$），其中以 25℃下对照组的产蚜数最大，为 5.6 头。温度、湿度和温湿度互作均显著影响各处理间的平均产蚜数（$P<$

0.01)。以25℃、不同湿度处理组产蚜数较多，最高为3.3头，30℃下次之为0.2~1.4头，其余温度与各湿度下处理组产若蚜数均较少。各湿度处理间除30℃下有显著差异外，其余温度下均无显著差异。至第7天时各对照组及处理组产蚜数均有明显增加，尤其以对照组增加更为明显。方差分析表明，对照组产蚜数显著高于相应温湿组合下的接种处理组（$P<0.01$），25℃下对照组产蚜数最多，达22.3头。处理组桃蚜产蚜数在各温湿组合间差异显著（温度：$P<0.01$；湿度：$P<0.01$；温湿互作：$P<0.01$），在各组合处理间以20℃下产蚜数较多，不同湿度间分别为5.2~12.4头，25℃下为3.9~10.3头，15℃ 下为1.6~4.9头，10℃下为0.2~2.0头。各湿度间以74%，85%和90% RH下产蚜数较多，分别为1.2~9.8头，0.5~8.3头和0.2~12.4头，显著高于95%和100% RH下的产蚜数（分别为0.3~8.0头和0.1~7.7头）。综合温湿度互作效应，在低湿和适温（20~25℃）下产蚜数较多，高温高湿下产蚜数较少。

表1 接种飞虱虫疠霉后的桃蚜在不同温湿度下的产若蚜数

Table 1 Number of nymphs produced by *M. persicae* apterae infected with *P. delphacis* at different regimes of temperature and relative humidity

温度（℃） Temperature	相对湿度（%） RH	每雌产若蚜数* Number of nymphs produced per aptera	
		第3天 Day 3	第7天 Day 7
10	CK	0 e	2.5 ± 1.7 gk
	74	0 e	2.0 ± 0.8 gk
	85	0 e	0.5 ± 0.3 jk
	90	0 e	0.2 ± 0.2 k
	95	0 e	0.3 ± 0.2 k
	100	0 e	1.2 ± 0.4 hk
15	CK	0.1 ± 0.3 e	6.4 ± 2.8 dg
	74	0.3 ± 0.2 e	4.9 ± 2.2 fj
	85	0 e	4.4 ± 1.4 fk
	90	0 e	1.6 ± 0.4 hk
	95	0 e	2.0 ± 0.3 gk
	100	0 e	2.2 ± 0.6gk
20	CK	0.5 ± 0.5 de	18.9 ± 3.1 a
	74	0.7 ± 0.5 de	9.8 ± 4.4 be
	85	0.0 ± 0.1 e	7.7 ± 6.1 cf
	90	0.8 ± 0.8 de	12.4 ± 5.6 b
	95	0 e	5.2 ± 1.4 fi
	100	0.0 ± 0.1 e	7.7 ± 5.9 cf
25	CK	5.6 ± 3.0 a	22.3 ± 9.1 a
	74	2.5 ± 1.3 b	5.5 ± 4.0 eh
	85	2.4 ± 1.3 bc	8.3 ± 4.8 bf
	90	2.8 ± 2.3 b	10.3 ± 8.1 bd
	95	3.3 ± 0.9 b	8.0 ± 4.5 cf
	100	2.4 ± 1.2 bc	3.9 ± 4.1 fk
30	CK	4.8 ± 1.5 a	12.1 ± 4.5 bc
	74	1.1 ± 0.7 de	1.2 ± 1.2 hk
	85	1.4 ± 1.3 cd	2.0 ± 1.9 gk
	90	1.4 ± 1.0 cd	1.8 ± 1.8 gk
	95	0.2 ± 0.6 e	0.5 ± 0.7 ik
	100	0.5 ± 0.5 de	0.1 ± 0.2 k

* 平均值±标准误，同列中不同字母表示新复极差法检验达显著差异（$P<0.05$）

Mean ± *SE* and those in the same column followed by different letters are significantly different（$P<0.05$）by Duncan's multiple range test

2.2 对桃蚜内禀增长力的影响

表2列出了不同温湿度条件下接种飞虱虫疠霉的桃蚜与对照组的生殖力生命表参数（30℃下因桃蚜迅速死亡未列入）。可以看出，各处理组桃蚜的净增长力（R_0）及内禀增长力（r_m）总体上均低于对照组，且在不同温湿度组合下表现不同。其中各处理组（15℃和100% RH组合除外）的 R_0 下降明显，比对照下降了4.7%~73.4%，以较高温湿度组合下表现最为明显。对 r_m 分析表明，对照及处理组桃蚜的 r_m 均随温度呈抛物线形变化，以25℃为最高，对照与处理间的 r_m 值差异也随温度升高而逐渐变大（图1）。方差分析表明，不同温度对各处理（$P<0.01$）和对照（$P<0.01$）桃蚜的 r_m 都有显著影响。其中25℃和20℃ 时的 r_m 值较大，显著高于10℃下的 r_m 值。但不同湿度对各处理（$P=0.58$）和对照（$P=0.57$）桃蚜的 r_m 值无显著影响。而对照与处理间 r_m 值在不同温湿度下差异不同，10℃下虽然各处理的 R_0 明显低于对照，但 r_m 值无差异（$P>0.05$）。而在15℃（$P<0.05$）、20℃（$P<0.05$）和25℃（$P<0.05$）下各处理 r_m 值显著低于对照的 r_m 值。此外，对照与处理间在世代历期（T）（$P>0.05$）和周限增长力（λ）（$P>0.05$）方面无显著差异。

表2 不同温湿度条件下接种飞虱虫疠霉的桃蚜生殖力生命表参数

Table 2 The parameters for fertility life table of *M. persicae* inoculated with *P. delphacis* at different regimes of temperature and relative humidity

温度 Temp. (℃)	相对湿度 RH	R_o		T		r_m		λ	
		处理 Treated	对照 CK	处理 Treated	对照 CK	处理 Treated	对照 CK	处理 Treated	对照 CK
10	74	56.33	61.22	38.30	38.35	0.11	0.11	1.11	1.11
	85	30.69	37.70	38.51	40.56	0.09	0.09	1.09	1.09
	90	23.83	39.45	39.51	40.52	0.08	0.09	1.08	1.10
	95	29.00	30.42	39.44	36.98	0.09	0.09	1.09	1.10
	100	15.32	54.30	32.82	38.14	0.08	0.11	1.09	1.11
15	74	18.24	45.67	19.39	19.77	0.15	0.19	1.16	1.21
	85	16.67	32.67	19.41	19.40	0.15	0.18	1.16	1.20
	90	13.10	22.33	20.65	19.23	0.13	0.16	1.13	1.18
	95	14.21	18.94	20.39	18.97	0.13	0.16	1.14	1.17
	100	14.41	14.18	18.82	18.44	0.14	0.14	1.15	1.16
20	74	24.04	29.67	11.40	10.54	0.28	0.32	1.32	1.38
	85	17.19	47.40	11.74	11.66	0.24	0.33	1.27	1.39
	90	21.74	30.00	11.10	10.51	0.28	0.32	1.32	1.38
	95	15.52	28.00	11.75	10.87	0.23	0.31	1.26	1.36
	100	14.63	28.33	11.13	11.24	0.24	0.30	1.27	1.35
25	74	5.93	17.31	6.75	7.18	0.26	0.40	1.30	1.49
	85	8.82	22.29	7.32	9.06	0.30	0.34	1.35	1.41
	90	12.94	22.11	7.92	9.22	0.32	0.34	1.38	1.40
	95	10.87	39.72	7.57	8.02	0.32	0.46	1.37	1.58
	100	4.43	16.66	5.90	7.23	0.25	0.39	1.29	1.48

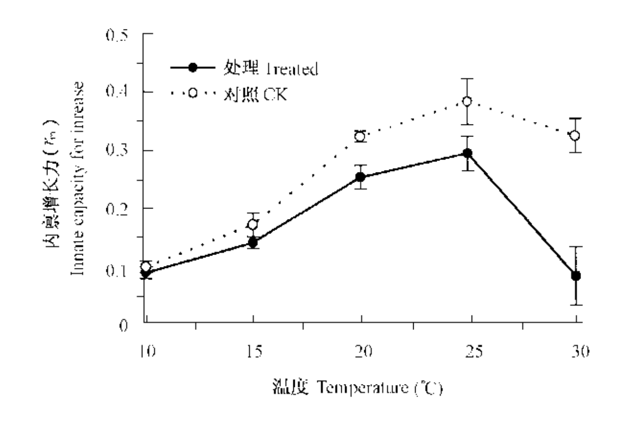


图1 不同温度下飞虱虫疠霉对桃蚜内禀增长力的影响

Fig. 1 Effect of *P. delphacis* on r_m of *M. persicae* at different temperatures

3 讨论

许多研究表明，蚜虫的生殖力受到各种内外因素的影响，主要包括温度（刘树生，1991）、杀虫剂（Rumpf *et al.*，1998）、食物营养（Nagata *et al.*，1998）、病原菌（Wang and Knudsen，1993；刘银泉等，1999）和寄生蜂（Spieles and Horn，1998）等。其中温度主要通过影响种群发育速率、寿命、存活率等影响其生殖力，进而影响种群的发生与发展。刘树生（1991）曾报道桃蚜的 r_m 与温度呈抛物线关系，25℃达最高，这与本研究中对照桃蚜的 r_m 随温度变化的情况是相一致的。但不同温湿度组合下各接种组桃蚜的 r_m 变化较为复杂，涉及桃蚜繁殖和真菌感染双重影响。桃蚜生长的最适温度为22℃，而飞虱虫疠霉最适生长温度为20～25℃（徐均焕和冯明光，1998），两者较为接近。所以在20℃和25℃下处理组桃蚜的 r_m 显著低于对照组桃蚜的 r_m；相反，低温（10℃）下由于飞虱虫疠霉生长较慢，对桃蚜 r_m 影响不大。

病原真菌对昆虫的生殖力影响方面的研究相对较少。据报道球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 对黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps*、褐稻虱 *Nilaparvata lugens*、俄罗斯麦双尾蚜 *Diuraphis noxia* 和桃蚜的生殖力及 r_m 有影响，但影响较小（Wang and Knudsen，1993；刘银泉等，1999）。在本研究中，飞虱虫疠霉对桃蚜 r_m 的影响较大，尤其在较高温度下更为明显。

作者认为飞虱虫疠霉对桃蚜 r_m 及生殖力影响较大主要基于以下几个原因。（1）与飞虱虫疠霉快速入侵桃蚜有关。已证实飞虱虫疠霉可在 4～6 h 内入侵桃蚜，“孢子浴”接种桃蚜后 2～3 天即可使其达死亡高峰（Xu and Feng，2000）。这比新蚜虫疠霉（蚜虫死亡高峰发生在 4～5 天）和球孢白僵菌（蚜虫死亡高峰发生在 8～9 天）的杀蚜速度要快得多。即使桃蚜蜕皮也不能去掉附着于表皮的飞虱虫疠霉孢子，而白僵菌则易被低龄若蚜的蜕皮而去除（刘银泉等，1999）。（2）与飞虱虫疠霉对桃蚜的毒力有关。刘银泉等（1999）报道高毒力白僵菌菌株对桃蚜的生殖力影响远大于低毒力菌株。现已证实飞虱虫疠霉对桃蚜的毒力大大高于球孢白僵菌对桃蚜的毒力。（3）与飞虱虫疠霉杀蚜机理有关。飞虱虫疠霉感染桃蚜后常以原生质体形式在寄主体内快速繁殖，通过耗尽寄主体内营养而快速杀死桃蚜。由于营养的逐渐耗尽而影响到染病成蚜的产蚜数，从而影响到桃蚜的生殖力和 r_m。

参 考 文 献（References）

Adams J B，van Emden H F，1972. The biological properties of aphids and their host plant relationships. In：van Emden H F ed. Aphid Technology. London：Academic Press. 47～104.

Feng M G，Johnson J B，Halbert S E，1991. Natural control of cereal aphids（Homoptera：Aphididae）by entomopathogenic fungi（Zygomycetes：Entomophthorales）and parasitoids（Hymenoptera：Braconidae and Encyrtidae）on irrigated spring wheat in southwestern Idaho. *Environ. Entomol.*，20（6）：1 534～1 542.

Feng M G，Xu Q，Xu J H，1999. Humidity control in biological experiments：modified device and methodology. *Chin. J. Appl. Ecol.*，10（3）：357～361.［冯明光，许谦，徐均焕，1999. 生物学实验中的湿度控制：改良的装置及工作原理. 应用生态学报，10（3）：357～361］

Latge J P，Papiereok B，1988. Aphid pathogens. In：Minks A K，Harrewijn P eds. Aphids：Their Biology，Natural Enemies and Control，Vol. 2b. Amsterdam：Elsevier. 323～335.

Liu C L，Feng M G，1998. The time-dose effect of the entomophthoralean fungus，*Zoophthora anhuiensis* against the green peach aphid，*Myzus persicae*，in bioassay. *Mycosystema*，17（4）：361～366.［刘彩玲，冯明光，1998. 安徽虫瘟霉对桃蚜的生物测定与时间-剂量效应分析. 菌物系统，17（4）：361～366］

Liu S S，1986. A discussion on the construction and analysis of life tables for insects. *Entomol. Knowl.*，23（1）：41～43.［刘树生，1986. 昆虫生命表制作与分析中的几个问题. 昆虫知识，23（1）：41～43］

Liu S S，1991. The influence of temperature on the population increase of *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi*. *Acta Entomol. Sin.*，34（2）：189～197.［刘树生，1991. 温度对桃蚜和萝卜蚜种群增长的影响. 昆虫学报，34（2）：189～197］

Liu Y Q，Liu S S，Feng M G，1999. Effect of *Beauveria bassiana* on the fecundity of the green peach aphid，*Myzus persicae*. *Acta Phytophyl. Sin.*，26（1）：30～34.［刘银泉，刘树生，冯明光，1999. 球孢白僵菌对桃蚜生殖力的影响. 植物保护学报，26（1）：30～34］

Nagata R T，Wilkison L M，Nuessly G S，1998. Longevity，fecundity，and leaf stippling of *Liriomyza trifolii*（Diptera：Agromyzidae）as affected by lettuce cultivar and supplemental feeding. *J. Econ. Entomol.*，91（4）：999～1 004.

Rumpf S，Frampton C，Dietrich D R，1998. Effects of conventional insecticides and insect growth regulators on fecundity and other life-table parameters of *Micromus tasmaniae*（Neuroptera：Hemerobiidae）. *J. Econ. Entomol.*，91（1）：34～40.

Shimazu M，1976. *Entomophthora delphacis* isolated from the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*（Stål）. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*，20（2）：144～150.

Spieles D J，Horn D J，1998. The importance of prey for fecundity and behavior in the gypsy moth（Lepidoptera：Lymantridae）predator *Calosoma sycophanta*（Coleoptera：Carabidae）. *Environ. Entomol.*，27（2）：458～462.

Tang Q Y，Feng M G，1997. Practical Statistics and DPS Data Processing System. Beijing：China Agricultural Press. 145～173.［唐启义，冯明光，1997. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京：中国农业出版社. 145～173］

Wang Z G，Knudsen G R，1993. Effect of *Beauveria bassiana*（Fungi：Hyphomycetes）on fecundity of the Russian wheat aphid（Homoptera：Aphididae）. *Environ. Entomol.*，22（4）：874～878.

Xu J H，Feng M G，1998. The Effect of photoperiods on the growth and sporulation of the entomophthoralean fugnus，*Pandora delphacis*. *Mycosystema*，17（4）：349～355.［徐均焕，冯明光，1998. 光周期对飞虱虫疠霉离体培养的生物量及其产孢节律的影响. 菌物系统，17（4）：349～355］

Xu J H，Feng M G，2000. The time-dose-mortality modeling and virulence indices for the two entomophthoralean species，*Pandora delphacis* and *P. neoaphidis*，against the green peach aphid，*Myzus persicae*. *Biol. Contr.*，17（1）：29～34.